

## 10. Mérés

### Oscillátorok mérése

Összeállította: Mészáros András, Nagy Balázs

2015.10.09.

#### 10.1 Általános elméleti áttekintés:

Az oszcillátorok (elektronikai értelemben véve), vagy más néven rezgéskeltők periodikus áramot vagy feszültséget előállító áramkörök. Ez a jel lehet szinuszos-, négyszög-, fűrészjel, stb. Azokat az összetettebb berendezéseket, melyek több jel egyidejű előállítására, annak paramétereinek változtatására alkalmasak, függvénygenerátoroknak nevezzük.

Amennyiben az oszcilláció nem kívánatos hatás, úgy gerjedésről beszélünk, rezgőköri elemek helyett pedig parazitaelemekről (parazitakapacitás, parazitainduktivitás).

Az oszcillátoroknak három nagy csoportja van aszerint, hogy milyen passzív komponensek határozzák meg a rezonanciafrekvenciát:

- **RC,**
- **LC,**
- **Kristály oszcillátorok.**

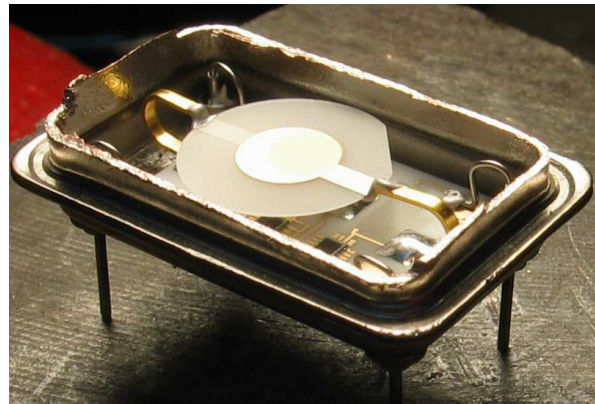
Az oszcillátorok főbb jellemzői:

- **frekvenciastabilitás:** a beállított rezgésszám ne változzon az idő függvényében;
- **amplitúdóstabilitás:** a kimenő jel amplitúdója állandó legyen;
- **torzításmentes jelalak:** hány nem kívánatos harmonikus összetevőt tartalmaz a jelalak;
- **hangolhatóság:** a hangolható oszcillátorokat nem csak egy frekvencián használják és fontos, hogy frekvenciaváltoztatás közben mennyit változik az amplitúdó.

#### 10.2 Mérőpanel ismertetése:

## 10.3 Mérőpanelek leírása:

### 10.3.1 Kvarc oszcillátor:



2. ábra: Kvarc oszcillátor és belső felépítése

Az integrált kivitelű kvarc oszcillátorokra való igényt az informatika, és később a vele járó híradástechnikai fejlődések tették indokolttá. Az ilyen típusú kvarc oszcillátorok egy tokban, a stabil oszcillációt biztosító áramkörökkel (esetleg segédáramkörök, úgy mint Charge-Pump bizonyos tápfeszültség igények kielégítéséhez), valamint kompenzáló (hőmérséklet) elektronikákkal együtt helyezkednek el.

Alkalmazásuk ebből adódóan rendkívül egyszerű, mivel az eddigieknek megfelelően 3 lábuk használatos; táp, föld, kimenet. Ezek az oszcillátorok, mint a kvarc alapúak általánosságukban, nem hangolhatóak, így az általuk kibocsátott frekvenciát a tokozáson mindig feltüntetik (ha nincs mértékegység, akkor alapértelmezett a MHz).

**1. feladat:** A mérés során egy 16.384 MHz kimeneti frekvenciájú oszcillátort vizsgálunk meg. Adjunk a megfelelő bemenetekre +5V tápfeszültséget. Ehhez használjuk a Hameg rack-kivitelű tápegységet, melyen a feszültség beállítását követően jegyezzük az oszcillátor által felvett áramértéket.

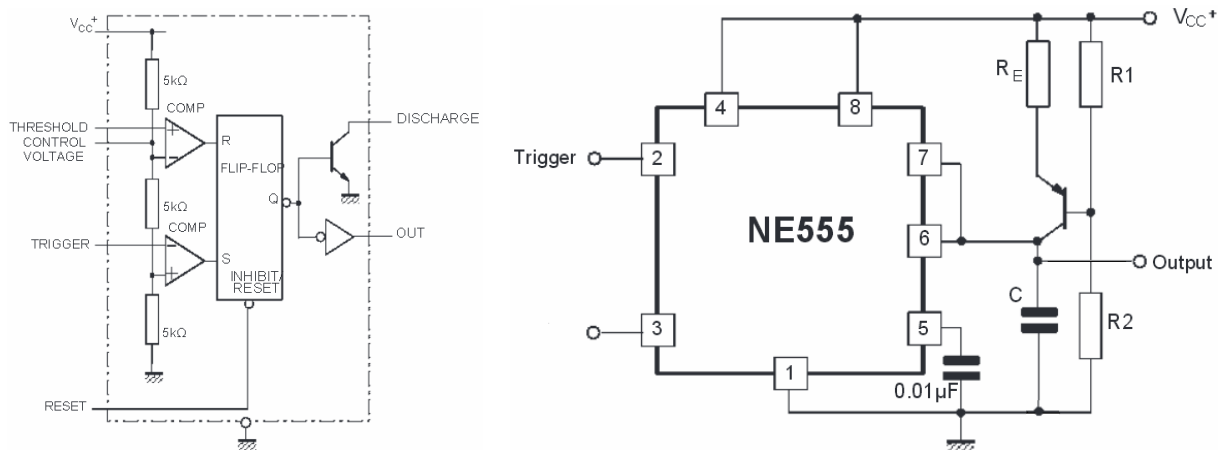
**2. feladat:** Ezt követően kössük az oszcillátor kimenetére a koaxiális mérővezetékét, melynek túlsó végére még ne tegyünk semmilyen műszert! Ismét jegyezzük le az áramértéket.

**3. feladat:** Kössünk oszcilloszkópot a mérővezeték végére! Ismételten jegyezzük az oszcillátor áramfelvételét! *A látottak indoklásához mérés technikai ismereteket kell elővenni: oszcilloszkóp bemeneti ellenállása, mérővezeték impedanciája (a mérésben használt 50Ω-os koaxiális kábel kapacitása 85pF/m).*

**4. feladat:** Rögzítsük és vizsgáljuk meg a kimeneti jelalakot! Legyünk tekintettel az amplitúdóra, magyarázzuk, keressünk lehetséges okot!

**5. feladat:** Hameg frekvenciamérő (számláló) fiókkal mérjük meg a pontos kimeneti frekvenciát!

### 10.3.2 Rámpa-generátor:



3. ábra: 555 tömbvázlata (bal) és a vele megvalósítható rámpa-generátor (jobb)

Rámpa, vagy lineáris fűrészjel generátorként is ismeretes. A rámpa generátorok egyfajta, a kondenzátor töltődési-kisülési görbéhez hasonló jelet állítanak elő, azzal a különbséggel, hogy a fel- és/vagy lefutó élek lineárisak. Ez a gyakorlatban úgy érhető el, hogy a kondenzátort nem feszültség, hanem áramgenerátorosan töltjük, illetve sűtjük ki; annak függvényében, hogy a generátor lineáris felfutó élt vagy lefutó élt szolgáltat, megkülönböztetünk pozitív és negatív rámpa generátorokat. Ez az áramkör önmagától alapesetben nem rezeg (külső trigger-impulzus indítja periódusonként), ezért technikailag nem oszcillátor, de egyedi hullámformája miatt mégis tárgyalni kell. Amennyiben a kondenzátor jelét visszacsatoljuk a TRIGGER bemenetére, úgy az 555-re jellemző klasszikus astabil multivibrátornak megfelelően berezeg.

Az áramkör alapját egy 555-ös időzítő IC szolgáltatja. Az áramkör jobb oldalán látható egy PNP tranzisztorttal megvalósított áramgenerátor, melynek munkapontját (egyúttal áramát)  $R_E$ ,  $R_1$  és  $R_2$  ellenállások határozzák meg, munkaellenállásként a  $C$  kondenzátor funkcionál. Az áramgenerátor az indító impulzus (TRIGGER) beérkezése után tölni kezdi a kondenzátort; eddig azért nem töltötte, mert az 555-ös DISCHARGE (7) lába földpotenciálra húzta a tranzisztor kollektorát, vele együtt  $C$  kondenzátort is. A töltődés egészen addig tart, amíg az időzítő THRESHOLD (6) lábán a feszültség a tápfeszültség kétharmada nem lesz. Ezt az összehasonlítást egy belső feszültségosztóval és egy komparátorral végzi az 555. A kondenzátort ezt követően a DISCHARGE lábon keresztül kisüti, és a következő impulzusig a kimenet ismét nulla lesz.

Az áramgenerátor, a kondenzátor és az 555-ös időzítő összehasonlító áramköre által együttesen meghatározott rámpa-időt az alábbi összefüggés írja le:

$$T = \frac{\frac{2}{3} U_{táp} \cdot R_E (R_1 + R_2) \cdot C}{R_1 \cdot U_{táp} - U_{BE} (R_1 + R_2)}$$

A rárpa felfutó élének meredeksége természetesen a kondenzátor kapacitásától és a töltőáram nagyságától függ. Az áramgenerátor árama az előtanulmányokból meghatározható.

Ezen meredekség (Slope) mérési úton az:

$$S = \frac{U_{cs-cs}}{T}$$

összefüggés alapján tehát a rárpa csúcstól csúcsig vett feszültségértékének és a periódusidejének hányadosa (célszerű V/us-ban kifejezni).

A kondenzátorban tárolt töltést a  $Q=C \cdot U_C$  formulát feszültségre rendezve  $U_C=Q/C$  egyenletet kapjuk. Összefésülve az előbbi két összefüggést:

$$S = \frac{U_C}{T} = \frac{Q \cdot T}{C} \quad (\text{és a generátor árama } I=Q/T) \qquad S = \frac{I}{C}$$

A gyakorlatban számos módon használható, két kiemelkedő felhasználási módja közül az egyik az analóg oszcilloszkópok X-irányú eltérítésére használt belső időalap-generátor. Nagy időalap választása esetén egy lassan, de egyenletes sebességgel haladó fénypontot látunk az ernyőn (pozitív rárpa), mely a képernyő jobb szélére érve észrevehetetlen sebességgel ugrik vissza az ernyő bal szélére (meredek lefutó él, kondenzátor kisütése).

Másik felhasználási terület a funkció (függvény) generátorok SWEEP üzemmódjában található, ahol is egy lineáris VCO-t hajtunk meg vele, ezáltal a kimeneten lineárisan változó frekvenciájú jelet nyerhetünk (pl: szűrők amplitúdó-menetének vizsgálatához).

A mérésben található áramkör pozitív rárpák létrehozására alkalmas, C kondenzátor értéke pedig jumper segítségével választható meg 3 érték (3,3nF, 15nF és 100nF) között. A legjobb oldali jumper állás rövidrezárja az áramgenerátor kollektorkörét, így lehetővé téve annak munkaponti adatának ( $U_E$  pontos mérését).

$C_1=3,3nF$ (3364pF)	$R_1=10k\Omega$ (9,942k $\Omega$ )
$C_2=15nF$ (14,36nF)	$R_2=2,2k\Omega$ (2,192k $\Omega$ )
$C_3=100nF$ (100,88nF)	$R_E=1k\Omega$ (0,996k $\Omega$ )

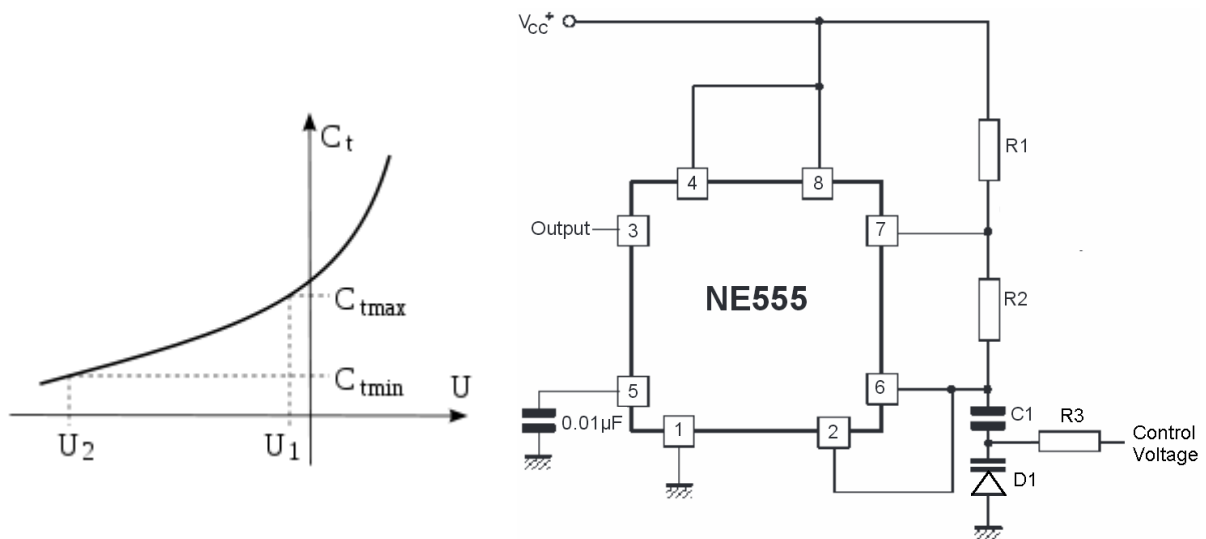
**1. Feladat:** Vizsgáljuk meg az áramkör működését mindhárom kondenzátorral, több frekvencián! (Mindegyik kondenzátor más-más frekvencián váltja ki a kívánt hatást; néhány száz Hz-től néhány tíz kHz-ig). A bemeneti trigger-jelet Hameg funkciógenerátor TTL jele szolgáltatassa. A tápfeszültség +9V legyen.

**2. Feladat:** Igazoljuk az áramkör működésének helyességét a három kondenzátorhoz tartozó rárpaidő kiszámításával, valamint a rárpák meredekségének meghatározásával! (Az optimális működéshez használatos frekvenciákat keressük meg kondenzátoronként.)

**3. Feladat:** Funkciógenerátor használata helyett csatoljuk vissza a kimenetet a bemenetre (T-elosztóval)! Mérjük meg a frekvenciát mindhárom esetben!

**4. Feladat:** Szintén oszcillátor (multivibrátor) üzemmódban vizsgáljuk a kimeneti jelalakot oszcilloszkóppal, melynek bemenete legyen DC csatolásban! Az 555-ös ilyenkor elvileg úgy működik, hogy a már korábban említett módon a kondenzátor feszültségét  $2/3U_{táp}$ -ig növeli, majd kisüti  $1/3U_{táp}$ -ig. Igazoljuk ezeket a feszültségértékeket!

### 10.3.3 VCO:



4. ábra: Varicap-dióda karakterisztikája (bal) és a vele megvalósítható VCO (jobb)

Híradástechnikában és műszertechnikában egyaránt elengedhetetlen a már korábban is említésre került változtatható frekvenciájú oszcillátor. Erre a gyakorlatban a legelterjedtebb manapság a feszültségvezérelt oszcillátor, azaz VCO (Voltage Controlled Oscillator). Ez természetesen nem azt jelenti, hogy a hagyományos kézzel hangolhatók már kifutottak, de ezeket a feszültség bemenetük végett könnyedén lehet automatizált vagy mikroprocesszoros környezetbe helyezni (egy mikrokontroller PWM kimenetének integrálja egyenfeszültség, a kitöltési tényező változtatásával hangolható a VCO).

A mérésben szereplő VCO alapjául az előtanulmányokból már ismeretes 555-el megvalósított astabil multivibrátor szolgált. A kapcsolás önreggő, tehát nincs szüksége külső vezérlőjelre a működéshez, a vezérlőfeszültség csupán elhangolja. A rezonanciafrekvenciát alapesetben  $R_1$ ,  $R_2$  és  $C_1$  kondenzátorok alkotják, de jelen esetben a  $C_1$  kondenzátor után sorosan beiktatásra került  $D_1$  varicap-dióda. Emlékeztetőül szolgáljon, a varicap-dióda záróirányban bekötött félvezető eszköz, mely a rá kapcsolt negatív feszültség függvényében változtatja a kapacitását.  $R_3$  ellenállás azt a célt szolgálja, hogy a vezérlőfeszültséget szolgáltató generátor (Thévenin-generátor) ne zárja rövidre  $D_1$  diódát; ebből adódóan értéke több száz k $\Omega$  is lehet, hiszen áram gyakorlatilag nem folyik rajta.

Az eredeti működési frekvenciát leíró képlet tehát módosul oly módon, hogy a képletben szereplő  $C_1$  kondenzátort repluszolni kell  $D_1$  dióda kapacitásával:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2) \cdot (C_1 \times C_{D1})}$$

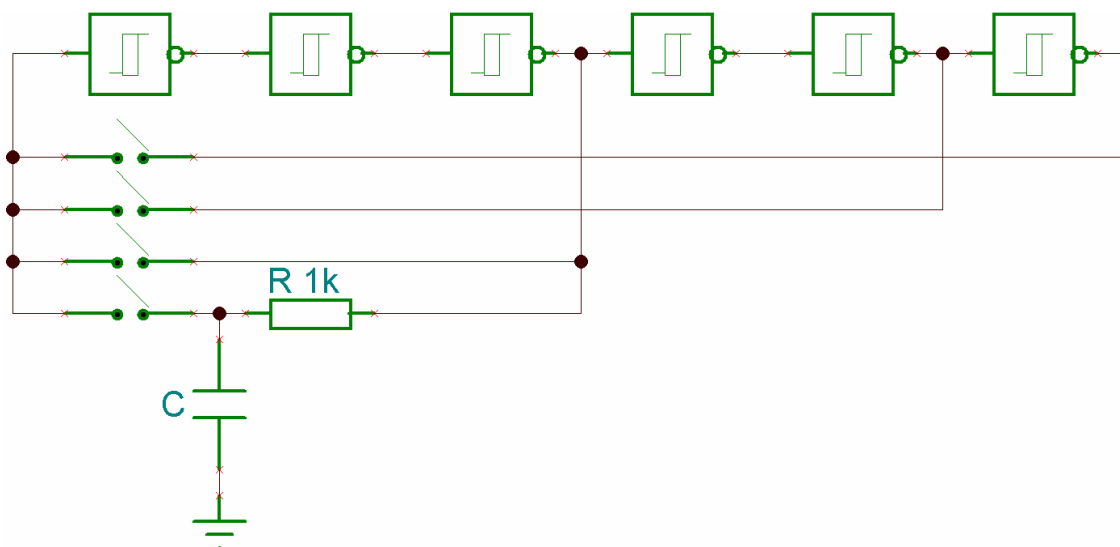
A gyakorlatban  $C_1$  kondenzátort rend szerint több nagyságrenddel nagyobb kapacitására választják meg a varicap-diódához képest, így a képletben hanyagolhatóvá válik. A mérésben megvalósított áramkör BB530 típusú varicap-diódákat tartalmaz; a panelon található jumperrel választható ki, hogy egy, vagy kettő (párhuzamosan kapcsolt) diódával kívánjuk elvégezni a mérést. Ezen diódák katalógus adata szerint a kapacitásuk 100-630pF között változtatható; az imént említett egyszerűsítés végett a vele (velük) sorba kapcsolt kondenzátor értéke 100nF (hanyagolható).

**1. Feladat:** Vegyük fel a VCO feszültség-frekvencia karakterisztikáját! A mérést 12V tápfeszültséggel (piros banán-csatlakozó) és 1 varicap-diódával végezzük, vagyis az áramkörön található jumper még ne legyen zárva! A gyors méréshez használjuk a Hameg frekvenciamérő fiókot. A vezérlőfeszültség értékét 0 és -15V között változtassuk 0.5V léptékben (kék banán-csatlakozó).

**2. Feladat:** Ismételjük meg az előző mérési pontot ezúttal zárt jumper-állásban, vagyis két varicap diódával!

**3. Feladat:** Nézzük meg oszcilloszkópon a kimeneti jelalakot. Tegyük javaslatot a jelkondicionálásra (helyreállítására, négyszögesítésére; természetesen jegyzőkönyvi feladat).

### 10.3.4 Ring-oszcillátor:



5. ábra: Ring oszcillátor mérési elrendezése

Ring-, vagy gyűrűs oszcillátor néven ismeretes. A gyűrűs oszcillátorok sorba kapcsolt inverterekből állnak, melyek közül az utolsó inverter kimenete az első bemenetére csatlakozik.

Működésének megértéséhez vegyünk egy egyszerű esetet három inverterrel. Tegyük fel, hogy az első inverter kimenete 1, ennek függvényében a második kimenete 0, a harmadik pedig újra 1. A harmadik inverter kimenete azonban vissza van csatolva az első bemenetére, melynek kimenete ez által 1-ből 0-ba billen, a másodiké 0-ból 1-be, a harmadiké pedig 1-ből 0-ba. Látszik, hogy stabil állapot nem tud létrejönni, mivel az inverterek folyton billegni fognak, oszcilláció jön létre.

Megállapítható az is, hogy ez a jelenség pusztán páratlan számú inverterek esetén működik, páros szám esetén azonnal beáll az egyensúlyi állapot, nem jön létre rezgés. Érdekessége a gyűrűs oszcillátoroknak, hogy a fázisfeltétel itt nem  $k \cdot 360^\circ$ , hanem  $180^\circ + k \cdot 360^\circ$  ( $k=0, 1, 2, 3, \dots$ ), ellentétben a szinuszos hullámformájú rezgéskeltőkével.

A működési frekvencia a láncba kapcsolt kapuk számával fordítottan arányos, a periódusidő a felhasznált kapuk összkésleltetésével egyezik meg:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = \sum t$$

Egyforma inverterek esetén (integrált kivétel), ahol  $n$  az inverterek száma:

$$T = n \cdot t$$

Lehetőség van arra, hogy valamilyen késleltető hatású elemet iktatunk a visszacsatoló ágba. Ilyen lehet például a kvarc is, de a vizsgálat során RC tagot alkalmazunk. Amennyiben a késleltető elem időállandója nagyságrendekkel nagyobb az inverterek együttes kapuidejénél, úgy a késleltető elem lesz a meghatározó a működési frekvencia szempontjából.

A mérésben SN7414 típusú hex invertert, azaz 6 darab invertert tartalmazó Schmitt-triggeres bemenetű integrált áramkört használunk. TTL szabványú, azaz tápfeszültsége +5V. Jumperek felhasználásával a mérésben 4 különböző összeállítás lehetséges:

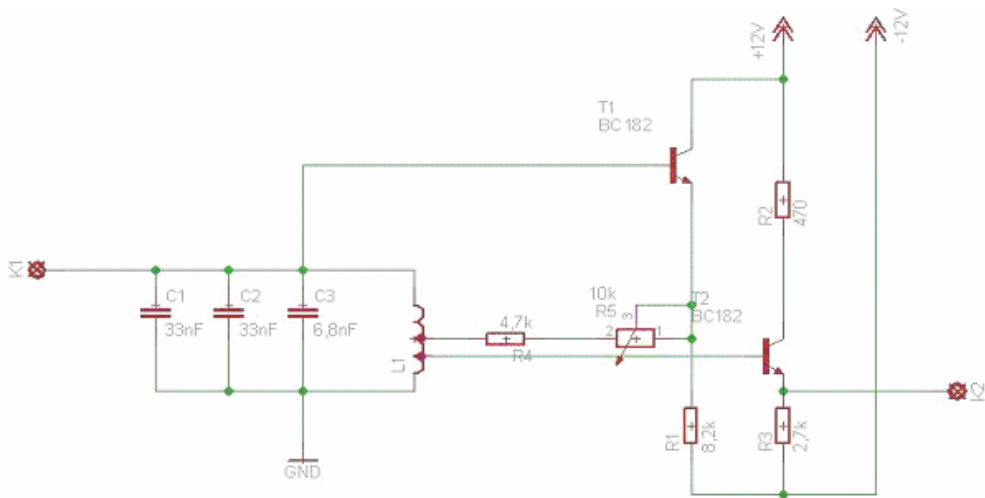
1. Három inverter és RC tag a visszacsatolásban,
2. Három inverter,
3. Öt inverter,
4. Hat inverter.

**1. Feladat:** Biztosítsunk a Ring-oszcillátor számára +5V tápfeszültséget (piros csatlakozó)! A kimeneti jelet vezessük Hameg frekvenciamérő fiókra, majd mérjük meg a kimeneti frekvenciát 3, 5, és 6 inverter esetén! Határozzuk meg az 1 kapura (inverterre) jutó átlagos késleltetési időt (kapuidőt)!

**2. Feladat:** Kössünk külső dekád-kondenzátort (zöld csatlakozók) az oszcillátorra, majd jumper segítségével állítsuk az előbbi felsorolás szerinti 1. állásba (mérőpanelon a legalsó)! Több kondenzátor érték mellett is jegyezzük fel a kimeneti frekvenciát!

**3. Feladat:** Vigyük oszcilloszkópra a Ring-oszcillátor kimenetét! Vizsgáljuk meg a kimeneti jelalakot nagy (3 inverter) és alacsony (RC taggal) működési frekvencián is, vessük össze és indokoljuk a látottakat!

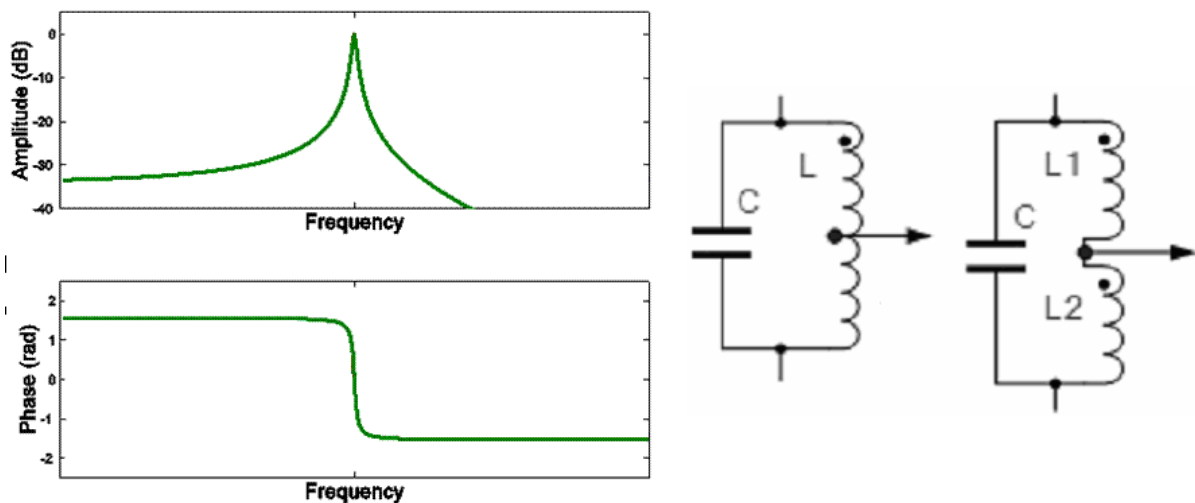
### 10.3.5 LC-oszcillátor:



6. ábra: Hartley-oszcillátor

LC-oszcillátorok tekintetében eléggé széles a skála: Colpitts, Meissner, Clapp, Pierce, Hartley a legismeretesebbek, ezek közül a legutóbbival foglalkozunk.

A párhuzamos LC rezgőkörök sáváteresztő szűrőként viselkednek, fázistolásuk rezonanciafrekvencián  $0^\circ$ :



7. ábra: LC rezgőkör Bode-diagramja (bal) és hárompont-kapcsolású kivitele (jobb)

A Hartley-oszcillátor az úgynevezett induktív hárompont-kapcsolású rezgőkörrel megvalósított rezgékeltő. A rezonanciafrekvencia számítása változatlan a szimpla LC-tagokhoz képest, hiszen  $L_1$  és  $L_2$  sorosan kapcsolódnak, így összeadhatók:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Az 7. ábrán látható kapcsolási rajzon  $T_2$ ,  $R_2$  és  $R_3$  követő fokozatot alkotnak, nem vesznek részt az alap oszcillátorban, pusztán a terhelhetőséget teszik lehetővé. A berezgésre vonatkozó fázisfeltétel természetesen itt is  $k \cdot 360^\circ$  ( $k=0, 1, 2, 3 \dots$ ), mely jelen esetben  $k=0$ . Ez úgy jön létre, hogy  $f_0$  értéken a rezgőkör fázistolása  $0^\circ$ , a visszacsatolás pedig a tranzisztor emitteréről a bázisára történik, ahol „emitterkövetés” végett nincs fázisfordítás.



Az amplitúdófeltétel beállítása az induktivitás megfelelő helyen történő megcsapolásával érhető el, de rend szerint egy potenciométerrel finomhangolható az eredő hurokerősítés.

A mérőpanelon a 7. ábra szerinti „K2” mérőpont került kivezetésre.

**1. Feladat:** Adjunk a Hartley-oszcillátorra  $\pm 6V$  szimmetrikus tápfeszültséget! A kimenetet vezessük digitális oszcilloszkópra, rögzítsük és értékeljük ki a jelalakot!

**2. Feladat:** Digitális oszcilloszkóp FFT (Fast-Fourier-Transformation) funkciójával jelenítsük meg a jel spektrumát, rögzítsük, és jegyezzük az egyes spektrumösszetevők amplitúdóját!

**3. Feladat:** Állítsunk be Hameg függvénygenerátoron ugyanakkora frekvenciájú és amplitúdójú szinusz hullámot, mint amit a Hartley-oszcillátor szolgáltat! Vezessük ezt is digitális oszcilloszkópra, FFT-zzük meg, majd vessük össze az LC oszcillátoréval!

**4. Feladat:** Határozzuk meg a rezgőkör induktivitását (jegyzőkönyvi feladat)!

## **10.4 Ellenőrző kérdések:**

1. Definiálja az amplitúdó- és fázisfeltételt!
2. Mit nevezünk hurokerősítésnek?
3. Mi történik, ha a szükségesnél nagyobb, illetve kisebb a hurokerősítés?
4. Milyen jellemzői vannak egy oszcillátornak, mit jelentenek ezek?
5. Rajzolja fel az egytranzistoros fázistolós oszcillátor kapcsolási rajzát!
6. Rajzolja le a Wien-híd Bode-diagramját!
7. Hogyan jön ki a Wien-hidas oszcillátor fázisfeltétele?
8. Hogyan számítjuk egy RC és egy LC rezgőkör rezonanciafrekvenciáját?
9. Mi határozza meg egy kvarc kristály rezonanciafrekvenciáját?
10. Hogyan működik a rámpa-generátor és hol hasznosítható?
11. Adja meg a rámpa-időt leíró képletet (tagok megnevezésével)!
12. Rajzolja fel a pozitív rámpa-generátor kapcsolási rajzát!
13. Mi a VCO?
14. Mi a varicap-dióda? Hogyan hasznosítható egy VCO-ban?
15. Mi a Ring-oszcillátor? Ismertesse működését, feltételét!
16. Rajzolja fel az LC rezgőkör Bode-diagramját!
17. Ismertesse a Hartley-oszcillátor amplitúdó- és fázisfeltételét!
18. Mit nevezünk harmonikus oszcillátornak?